

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

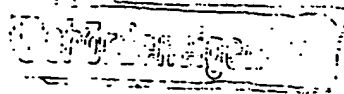
⑤

Int. Cl. 2:

**H 02 K 29/04**

⑬ **BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND**

**DEUTSCHES PATENTAMT**



**DE 28 34 378 B 1**

⑪

# **Auslegeschrift 28 34 378**

⑫

Aktenzeichen: P 28 34 378.4-32

⑬

Anmeldetag: 4. 8. 78

⑭

Offenlegungstag: —

⑮

Bekanntmachungstag: 15. 11. 79

⑳

Unionspriorität:

⑳ ㉑ ㉒ —

⑤④

Bezeichnung: Synchronmaschine für Stromrichterbetrieb

⑥①

Zusatz zu: P 24 33 618.3

⑦①

Anmelder: Siemens AG, 1000 Berlin und 8000 München

⑦②

Erfinder: Auinger, Herbert, Dipl.-Ing. Dr. techn., 8500 Nürnberg

⑤⑤

Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:  
DE-PS 24 33 618

**DE 28 34 378 B 1**

## Patentansprüche:

1. Synchronmaschine für Stromrichterbetrieb mit einem gleichmäßig mit einer Erregerwicklung voll bewickelten Induktor, in dem eine Querfelddämpferanordnung angeordnet ist, deren transiente Zeitkonstante an die transiente Zeitkonstante der in Richtung der Längsachse felderzeugenden Erregerwicklung angepaßt ist, die ihrerseits in zu einer Brücke zusammengeschaltete Wicklungszweige unterteilt ist, in deren Brückendiagonale ein an spiegelbildlich zur Längsachse liegende erste Anschlußpunkte angeschlossener Ausgleichsleiter einen in Richtung der Querachse kurzgeschlossenen Dämpferkreis bildet, nach Patent P 24 33 618, dadurch gekennzeichnet, daß in einem ersten Winkelbereich  $(\pi - 2\alpha)$  quer und symmetrisch zur Längsachse ( $d$ ) liegende erste Wicklungszweige ( $A'1$ ,  $B'1$  und  $B'1$ ,  $A'1$ ) unmittelbar kurzgeschlossen sind, daß in einem daran anschließenden und symmetrisch zur Querachse ( $q$ ) liegenden zweiten Winkelbereich ( $2\alpha$ ) angeordnete, die Querachse ( $q$ ) kreuzende zweite Wicklungszweige ( $A'2$ ,  $B'2$  und  $A''2$ ,  $B''2$ ) mit ihren Enden über die auf der Längsachse ( $d$ ) liegenden Speisepunkte ( $E1$ ,  $E2$ ) an die Erregerstromquelle angeschlossen sind und daß der eine Ausgleichsleiter (10) an die ersten Anschlußpunkte ( $P1$ ,  $P2$ ) oder mehrere Ausgleichsleiter ( $10'$ ,  $10''$ ) an spiegelbildlich zur Längsachse ( $d$ ) liegende weitere Anschlußpunkte ( $P'1$ ,  $P'2$ ,  $P''1$ ,  $P''2$ ) angeschlossen sind.

2. Synchronmaschine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß vier spiegelbildlich zur Längsachse ( $d$ ) und Querachse ( $q$ ) liegende Anschlußpunkte ( $P'1$ ,  $P'2$ ,  $P''1$ ,  $P''2$ ) durch zwei Ausgleichsleiter ( $10'$ ,  $10''$ ) kreuzungsfrei verbunden sind (Fig. 3).

3. Synchronmaschine nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Anschlußpunkte ( $P'1$ ,  $P'2$ ;  $P''1$ ,  $P''2$ ) in solcher Relativlage zu den Speisepunkten ( $E1$ ,  $E2$ ) und den Enden der kurzgeschlossenen Wicklungszweige ( $A'1$ ,  $B'1$ ,  $B'2$ ,  $A''2$ ) angeordnet sind, daß die Reaktanzen und Zeitkonstanten für die Längs- und die Querachse ( $d$ ,  $q$ ) identisch sind (Fig. 3).

4. Synchronmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die kurzgeschlossenen Wicklungszweige ( $A'1$ ,  $B'1$ ;  $B'1$ ,  $A''1$ ) von den übrigen Wicklungszweigen galvanisch getrennt sind (Fig. 2b).

5. Synchronmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Erregerwicklung eine aus gesehten Spulen gebildete Zweischichtwicklung ist.

6. Synchronmaschine nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Spulensehnung

$$\frac{W}{\tau} \geq \frac{\alpha}{90^\circ}$$

beträgt, wobei  $W$  die Spulenweite,  $\tau$  die Polteilung und  $\alpha$  den Erstreckungsbereich der erregerstromführenden Wicklungszweige bedeuten.

7. Synchronmaschine mit  $p \geq 2$  Polpaaren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß  $p$ -fach gleiche Wicklungsanordnungen hinsichtlich der Erregerstromspeisung in Richtung

der Längsachse ( $d$ ) parallel oder in Reihe geschaltet sind.

8. Synchronmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 3 mit einer Stabwicklung als Erregerwicklung, dadurch gekennzeichnet, daß die Stäbe von Pol zu Pol fortschreitend nach Art einer in sich geschlossenen Wellenwicklung im Induktor verlegt sind.

9. Synchronmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Erregerwicklung nach Art einer mehrgängigen, schleifen- oder wellenartig im Induktor untergebrachten Wicklung verlegt ist.

Die Erfindung betrifft eine Synchronmaschine für Stromrichterbetrieb nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Eine derartige Synchronmaschine ist durch das zugehörige Hauptpatent 24 33 618 bekannt.

Beim Hauptpatent wird als eine der möglichen Querfelddämpferanordnungen die in den gleichmäßig angeordneten Nuten des Induktors verteilte Erregerwicklung selbst verwendet, wobei jeweils die im Bereich eines Polpaares liegenden Wicklungszweige gemäß Fig. 8a, 9b zu einer Brücke geschaltet sind und durch einen diagonalen Ausgleichsleiter ein in Richtung der Querachse kurzgeschlossener Dämpferkreis gebildet ist, wodurch sich angepaßte transiente Zeitkonstanten  $T'_d$  und  $T''_d$  in Längs- und Querrichtung ergeben. Bei vollständiger Bewicklung des gleichmäßig genuteten Induktors bilden die im Bereich eines jeden Polpaares liegenden hintereinandergeschalteten Wicklungszweige bezüglich ihrer Phasenlage ein reguläres Polygon, das sich mit zunehmender Zahl der Nuten je Pol immer mehr einem Kreis nähert. Die den auf der gedachten Längsachse liegenden Speisepunkten für den Erregerstromkreis beiderseits benachbarten Wicklungszweige der Erregerwicklung haben am Aufbau der Längsdurchflutung nur einen relativ kleinen Anteil, da sie nahezu in Richtung der Querachse wirken und daher im wesentlichen nur Erreger-Kupferverluste verursachen.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, die Erreger-Kupferverluste herabzusetzen und ferner die Längsfeld-Durchflutungskurven günstig zu beeinflussen.

Die Lösung der gestellten Aufgabe gelingt mit den Merkmalen nach dem Kennzeichen des Anspruchs 1.

Demnach werden zur Erregung des Längsfeldes nur die jeweils im Bereich der Winkel  $\alpha$  beiderseits der Querachse liegenden Wicklungszweige herangezogen und die restlichen Wicklungszweige beiderseits der Längsachse unmittelbar kurzgeschlossen und nur zur Querfelddämpfung benutzt.

Die Erfindung geht von der Erkenntnis aus, daß hierdurch die effektive Windungszahl des Längskreises  $w \cdot \xi \sim \sin \alpha$  (mit  $\xi$  als Wicklungsfaktor) weniger stark verringert wird als der proportional mit dem Winkel  $\alpha$  abnehmende ohmsche Widerstand  $R_d$ . Um eine gleiche Längsdurchflutung zu erreichen, muß der Erregerstrom  $I_e$  reziprok zur verringerten Windungszahl gemäß

$$I_e \sim \frac{1}{\sin \alpha}$$

erhöht werden, jedoch ergibt sich insgesamt bei den praktisch in Frage kommenden Winkeln  $\alpha$  zwischen  $60^\circ$  und  $90^\circ$  eine herabgesetzte Erregerleistung

$$P_e = I_e^2 \cdot R_d \sim \frac{\alpha}{\sin^2 \alpha}$$

Weitere Einzelheiten der Erfindung sind Gegenstand von Unteransprüchen.

Einige Ausführungsbeispiele der Erfindung sind anhand der Zeichnung nachfolgend näher erläutert. Es zeigt

Fig. 1 eine Querfelddämpferanordnung nach dem Hauptpatent,

Fig. 2a und b und Fig. 3 verschiedene Varianten der Erfindung in vereinfachter Darstellung unter Fortlassung des gleichmäßig genuteten Induktors,

Fig. 4 ein Diagramm der Verhältnisswerte vom Erregerstrom  $I_e$  und  $I_e^2$ , Erregerleistung  $P_e$ , Erregerspannung  $U_e$ , Längsfeldinduktivität  $L_d$ , Erregerwiderstand  $R_d$ , Leerlaufzeitkonstante  $T_{do}$  sowie den Verlauf der Durchflutungskurven bei ungesehnten Spulen in Abhängigkeit vom Winkel  $\alpha$ ,

Fig. 5 bis 7 Durchflutungspläne für einen Induktor mit 18 Nuten pro Polpaar mit 8/9-, 7/9- und 6/9-geordneten Zweischichtwicklungen für jeweils verschiedene Winkel  $\alpha = 90^\circ, 80^\circ, 70^\circ$  und  $60^\circ$ .

Die vier in Fig. 1 schematisch dargestellten Wicklungszweige  $A', B'$  und  $A'', B''$  der Erregerwicklung sind in Brücke geschaltet, wobei durch einen symmetrisch zu den in der Längsachse  $d$  gegenüberliegenden Speisepunkten  $E1$  und  $E2$  für den Erregerstromkreis angeordneten diagonalen Ausgleichsleiter 10 ein in Richtung der Querachse  $q$  kurzgeschlossener Dämpferkreis gebildet ist. Die zwischen den Speisepunkten  $E1$  und  $E2$  und den in der Querachse  $q$  liegenden Anschlußpunkten  $P1, P2$  des Ausgleichsleiters 10 erstreckten Wicklungszweige  $A', B'$  und  $A'', B''$  der Erregerwicklung bilden gleichwertige symmetrische Brückenzweige, die sich jeweils über einen Winkelbereich von  $90^\circ$  erstrecken.

Wenn der gleichmäßig genutete Induktor eine aus Spulen bzw. Spulengruppen mit gleicher bzw. gleicher mittlerer Schrittweite gebildete Erregerwicklung trägt, dann bilden die jeweils im Bereich eines Polpaares gleichmäßig am Umfang verteilten Spulen bei Hintereinanderschaltung nach Art einer in sich geschlossenen Schleifenwicklung hinsichtlich ihrer Phasenlage ein reguläres Polygon. Da sich die Phasenlage der Spulen von Nut zu Nut stetig ändert, wird dieses Polygon umso kreisähnlicher, je höher die Nutenzahl je Pol ist. Die beiderseits der Speisepunkte  $E1, E2$  benachbarten Spulen liegen dabei nahezu in Richtung der Querachse  $q$ , so daß ihr Anteil für die Längsdurchflutung relativ klein ist und sie im wesentlichen nur die Erregerkuperverluste des Induktors erhöhen.

Nach Fig. 2 läßt sich dieser Nachteil sehr einfach dadurch vermeiden, daß die der Längsachse  $d$  benachbarten Wicklungszweige  $A'1, B''1$  und  $B'1, A''1$  an den Kurzschlußpunkten  $K1, K2$  (Fig. 2a) bzw.  $K'1, K'2$  (Fig. 2b) unmittelbar kurzgeschlossen und nur zur Querfelddämpfung benutzt werden. Zur Erregung des Längsfeldes werden dann nur noch die restlichen Wicklungszweige  $A'2, B'2$  und  $A''2, B''2$  herangezogen, die sich jeweils beiderseits der Querachse  $q$  in einem Winkelbereich  $\alpha$  erstrecken. Die Wicklungszweige  $A'2, B'2$  und  $A''2, B''2$  können mit den Wicklungszweigen  $A'1, B''1$  (und  $B'1, A''1$ ) entweder gemäß Fig. 2a galvanisch verbunden und ihre gemeinsamen Kurzschlußpunkte  $K1, K2, K'1, K'2$  mit den Speisepunkten  $E1 (E2)$  durch einen Kurzschlußleiter verbunden sein, oder es können gemäß Fig. 2b die Wicklungsteile  $B'1, A''1$  (und  $A'1, B''1$ ) von den übrigen Wicklungsteilen galvanisch getrennt durch einen gesonderten Leiter kurzgeschlossen und die

Enden der übrigen Wicklungsteile an den Endpunkten  $E'2, E''2$  mit dem jeweiligen Speisepunkt  $E2 (E1)$  verbunden sein. Entsprechend wie beim Längskreis kann man auch für den Querfelddämpferkreis vorteilhafterweise nur einen Teil der Erregerwicklung ausnutzen, indem nach Fig. 3 in Richtung der Querachse  $q$  zwei parallel verlaufende sehnenförmige Ausgleichsleiter  $10', 10''$  vorgesehen sind.

Wenn deren Anschlußpunkte  $P'1, P'2$  und  $P''1, P''2$  derart gewählt werden, daß der Winkel  $\alpha$  gleich dem Winkel  $\alpha'$  zwischen der Längsachse  $d$  und einem jeweils benachbarten Anschlußpunkt, z. B.  $P'1$ , ist, dann sind für den Längs- und Querkreis jeweils gleichviele Wicklungszweige der Erregerwicklung wirksam und die Reaktanzen und Zeitkonstanten für beide Achsrichtungen  $d$  und  $q$  jeweils identisch.

Der Erfindung liegt die in Fig. 4 angedeutete Erkenntnis zugrunde, daß sich, ausgehend von  $\alpha = 90^\circ$  (bei dem alle Wicklungszweige stromführend sind), bei Verringerung der im Längskreis wirksamen Spulenzahl, d. h. Verkleinerung des Winkels  $\alpha$  zwischen der Querachse  $q$  und den Speisepunkten  $E$  auf kleiner  $90^\circ$  eine gemäß  $w \cdot \xi \sim \sin \alpha$  verringerte effektive Windungszahl ergibt, so daß zur Erzielung der gleichen Erregerdurchflutung der erforderliche Erregerstrom  $I_e \sim \frac{1}{\sin \alpha}$  erhöht werden muß. Der ohmsche Widerstand  $R_d$  ist jedoch im wesentlich stärkeren Maß linear mit  $\alpha$  verringert, wodurch auch für die Erregerspannung

$$U_e = I_e \cdot R_d \sim \frac{\alpha}{\sin \alpha}$$

und für die Erregerleistung

$$P_e = I_e^2 \cdot R_d \sim \frac{\alpha}{\sin^2 \alpha}$$

eine Verringerung erreicht wird.

Ausgehend von dem Fall, daß alle Wicklungszweige vom Erregerstrom durchflossen werden, d. h.  $\alpha = 90^\circ$  beträgt, nimmt die Erregerleistung  $P_e$  zuerst mit Verringerung der Spulenzahl, d. h. mit Verkleinerung von  $\alpha$  stetig ab und erreicht bei einem Winkel

$$\alpha^* = \frac{1}{2} \tan \alpha^* = 1,1655 \text{ rad} = 66,78^\circ$$

den kleinsten Wert

$$P_{emin} = 0,879 \cdot P_e (P_e \text{ bei } \alpha = 90^\circ).$$

Bei weiterer Verringerung von  $\alpha$  unter  $\alpha^*$  nimmt die erforderliche Erregerleistung  $P_e$  wieder zu. Da für die Erwärmung der Erregerwicklung nicht allein die Gesamtverluste, sondern auch die spezifischen Verluste in jedem stromführenden Wicklungszweig maßgebend sind, die mit dem Quadrat des Erregerstromes, also mit  $\frac{1}{\sin^2 \alpha}$  ansteigen, ist es vorteilhaft, statt des Minimums

$P_{emin}$  bei  $\alpha^*$  einen etwas höheren Wert der Erregerleistung anzustreben, wozu der optimale Winkel  $\alpha_{opt} > \alpha^*$  zwischen  $75^\circ$  und  $80^\circ$  gewählt wird. Auf diese Weise kann mit nur geringfügiger Erhöhung des Erregerstromes  $I_e$  um etwa 2,4% die Erregerleistung  $P_e$  um rund 10% gegenüber dem Wert bei  $\alpha = 90^\circ$  herabgesetzt werden.

Außerdem ist in Fig. 4 der Verlauf der Längsfeld-Induktivität  $L_d$  der Erregerwicklung proportional  $\sin^2 \alpha$  sowie die Leerlaufzeitkonstante der Erregerwicklung

$$T_{do} = L_d / R \sim \frac{\sin^2 \alpha}{\alpha}$$

dargestellt, die sich reziprok mit der Erregerleistung  $P_e$

ändert. Im unteren Teil der Fig. 4 sind für ungesehnte Spulen (Durchmesserspulen) die verbesserten Felderregerkurven Fig. 4b, c, d bei Werten für  $\alpha=80^\circ$ ,  $70^\circ$ ,  $60^\circ$  gegenüber der Felderregerkurve Fig. 4a bei  $\alpha=90^\circ$  dargestellt. Die Felderregerkurven Fig. 4b bis d erhalten von der ungünstigen Dreieckform der Felderregerkurve 4a bei  $\alpha=90^\circ$  ausgehend eine trapezförmige Gestalt. Die mit abnehmendem Winkel  $\alpha$  immer stärker abgekappede Dreieckspitze (Fig. 4b bis d) entspricht unmittelbar den kurzgeschlossenen Wicklungszweigen beiderseits der Speisepunkte  $E1$  und  $E2$ , die keinen Beitrag zur Hauptfelderregung in Richtung der Längsachse  $d$  leisten.

Die im oberen Teil der Fig. 4 gezeigten grundsätzlichen Kurvenverläufe gelten unabhängig davon, ob die Wicklungszweige als Spulen mit Durchmesserschnitt oder beliebig gesehnte Spulen ausgeführt sind. Durch Sehnung der Spulen kann auch bei  $\alpha=90^\circ$  eine »Abkappung« der Felderregerkurven gemäß Fig. 4b bis d erreicht werden, wobei die Sehnung mit den Zahlenangaben für die Amplituden der Felderregerkurven (z. B.  $2/3$ ,  $7/9$ ,  $8/9$ ) identisch ist. Wie man aus den Durchflutungsbildern in Fig. 5a, 6a und 7a für eine Zweischichtwicklung mit neun Nuten je Pol erkennt, ist diese Methode jedoch unwirtschaftlich, da die Feldabflachung nämlich durch in Ober- und Unterschicht bifilar durchflutete Nuten bewirkt wird.

Es ist daher wesentlich günstiger, die betreffenden Spulenseiten entsprechend den Schaltungen nach Fig. 2 und 3 von vornherein stromlos zu lassen.

In den Fig. 5, 6, 7b bis d sind jeweils noch die Durchflutungspläne für eine derartige Schaltung mit  $\alpha=80^\circ$ ,  $70^\circ$  und  $60^\circ$  dargestellt, wobei die stromlosen Spulenseiten durch  $\circ$  angedeutet sind. Es ist ersichtlich, daß sich bei  $\alpha \leq \frac{W}{\tau} \cdot 90^\circ$ , mit der Sehnung aus Spulenweite  $W$  und Polteilung  $\tau$ , bifilar durchflutete Nuten vermeiden lassen. Durch Sehnung und verkleinerte Winkel  $\alpha$ , d. h. durch Kurzschließen von Wicklungszweigen, lassen sich besonders gute Felderregerkurvenformen und eine optimale Verringerung der Kupferverluste erzielen.

Die in den Fig. 2a, b und 3 dargestellten Schaltungsanordnungen zeigen nur prinzipielle Ausführungen für zweipolige Induktoren. Bei höherpoligen (2p-poligen) Induktoren sind die dargestellten Wicklungsanordnungen daher  $p$ -fach vorhanden und können in bekannter Weise in Richtung der Längsachse  $d$  wahlweise parallel oder in Reihe geschaltet sein.

Bei Stabwicklungen kann der Wicklungszug auch von Pol zu Pol fortschreitend nach Art einer in sich geschlossenen Wellenwicklung verlegt sein. Die Prinzipschaltbilder Fig. 2a, b und 3 gelten dann für die gesamte Erregerwicklung.

Als weitere Variante können auch nach Art von Gleichstrom-Ankerwicklungen mehrgängige schleifen- oder wellenförmig verlegte Wicklungsanordnungen vorgesehen sein, die eine größere Zahl paralleler Wicklungszweige ermöglichen.

---

Hierzu 3 Blatt Zeichnungen

---

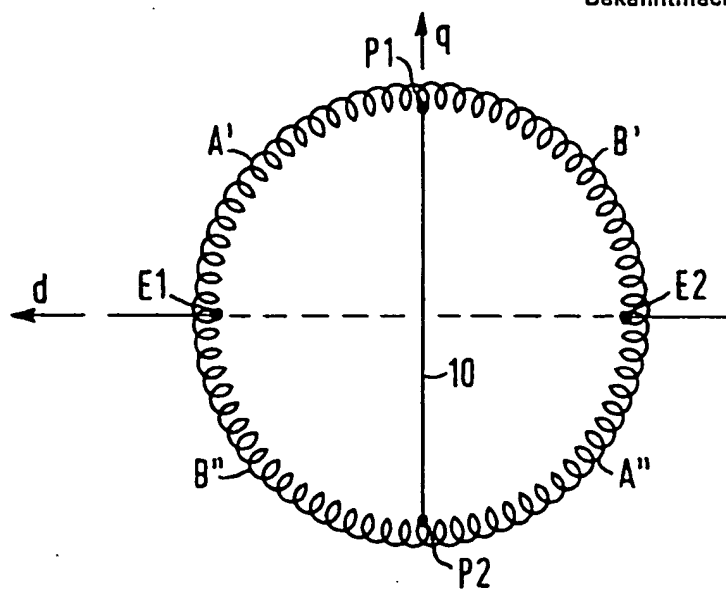


FIG 1

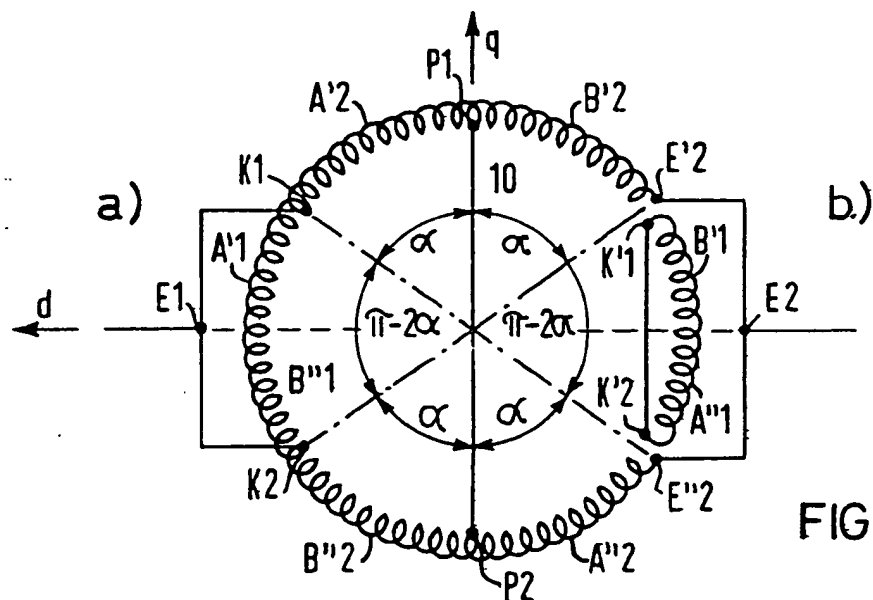


FIG 2

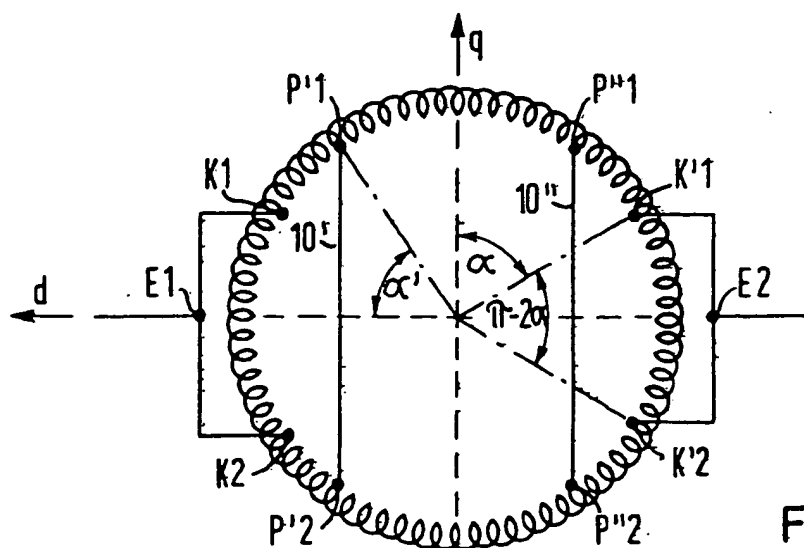


FIG 3

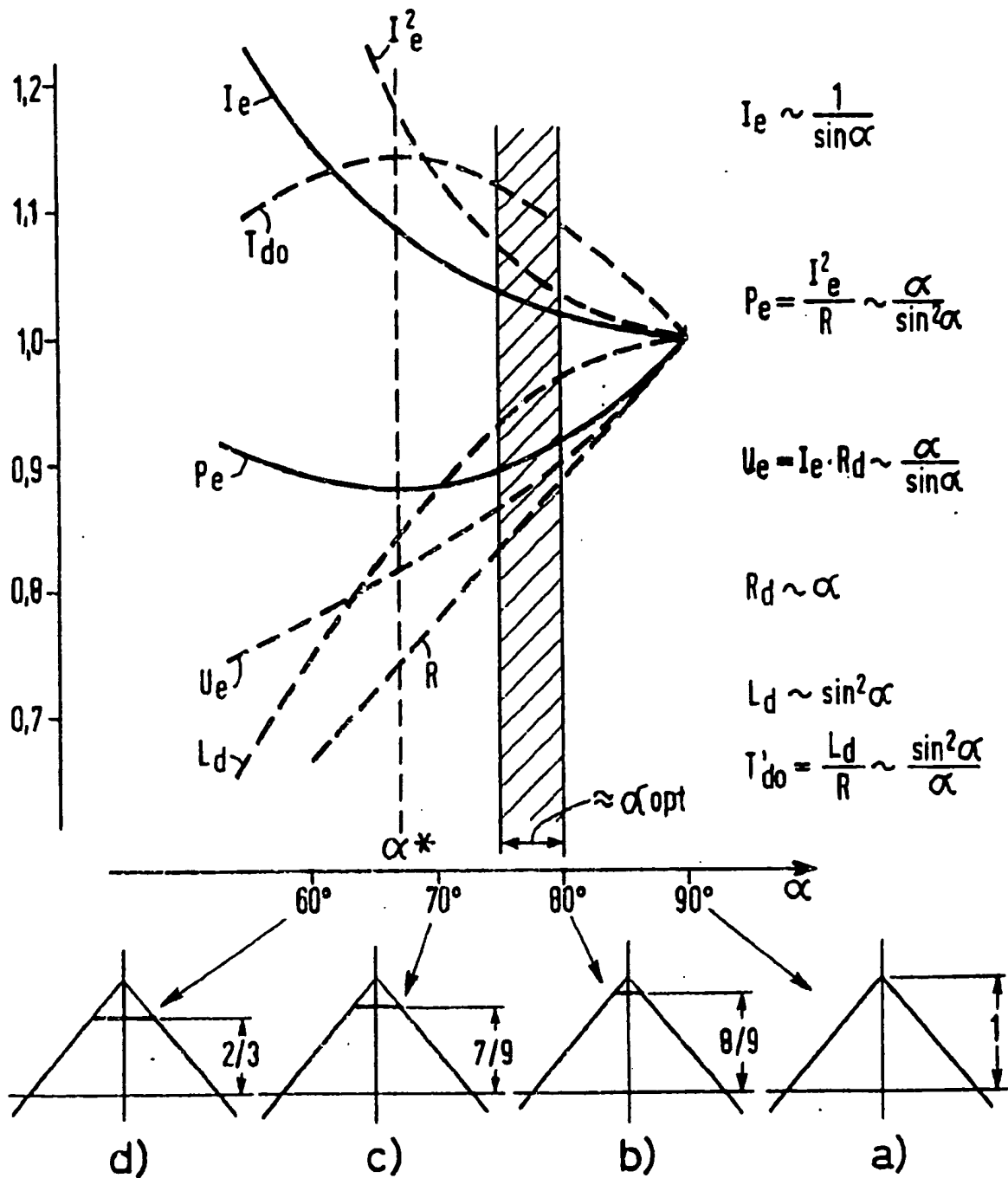


FIG 4

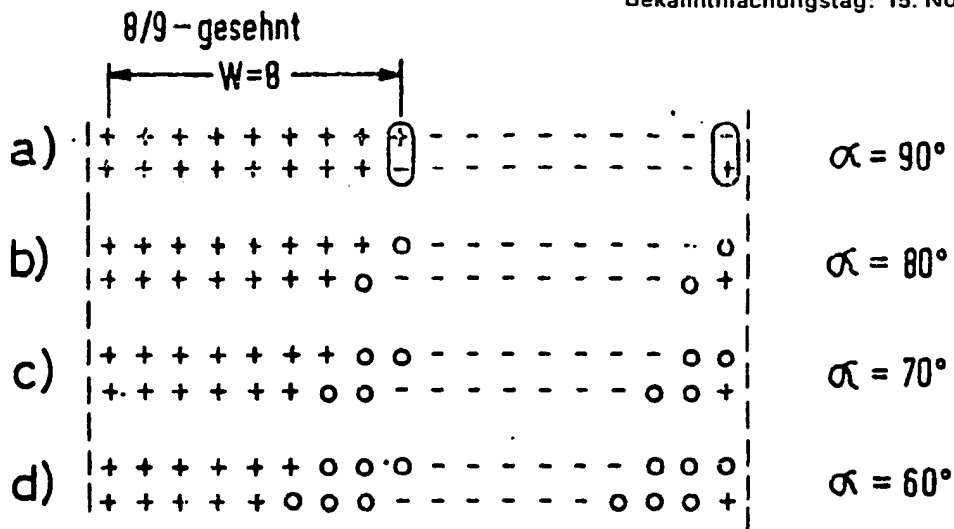


FIG 5

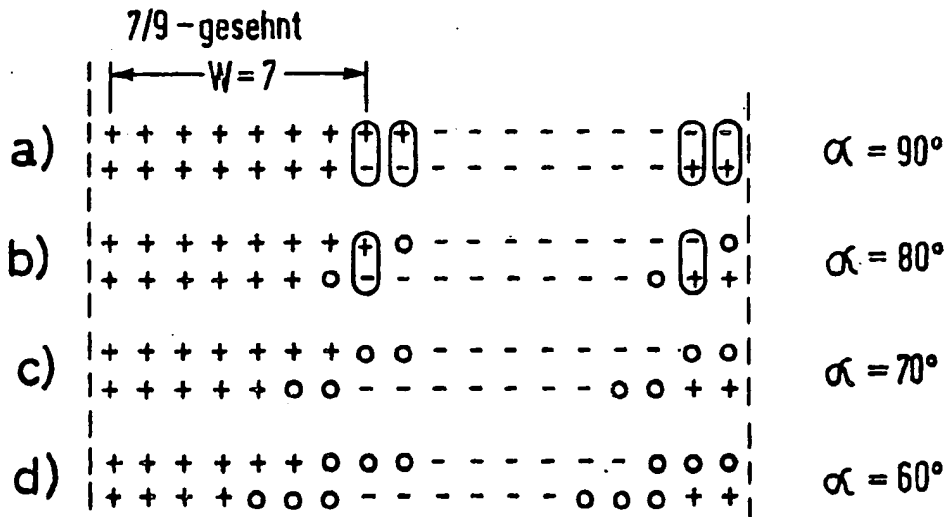


FIG 6

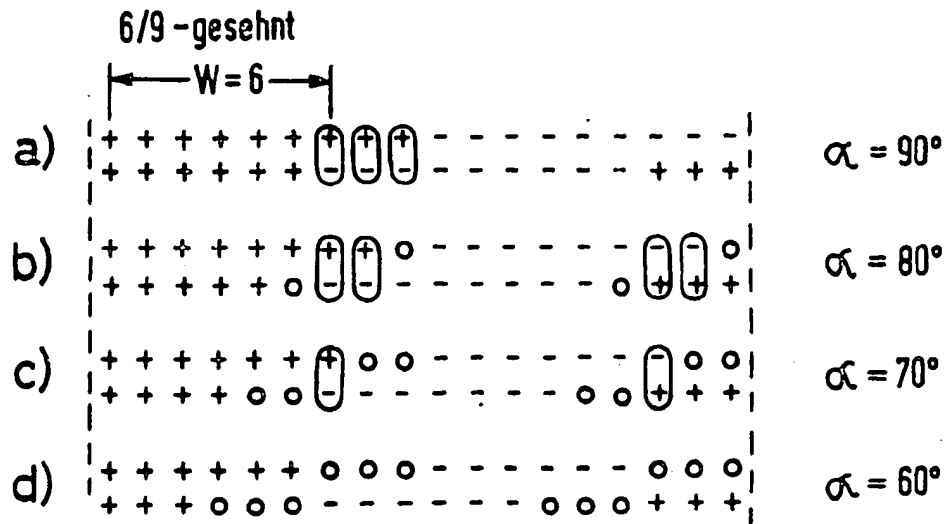


FIG 7